

50212-338
OHMURA, et al.
1/22/02
10/051,299



本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 1月21日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-012017

[ST.10/C]:

[JP2002-012017]

出 願 人

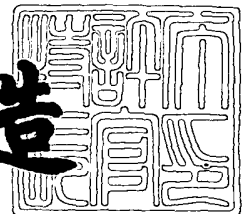
Applicant(s):

住友電気工業株式会社

2002年 6月20日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3049284

【書類名】 特許願
【整理番号】 102Y0032
【提出日】 平成14年 1月21日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G02B 6/00
H01S 3/10

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社横浜製作所内

【氏名】 大村 真樹

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社横浜製作所内

【氏名】 茂原 政一

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2001-209826

【出願日】 平成13年 7月10日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光導波路型回折格子素子およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光導波路の長手方向に沿って N (N は 2 以上の整数) 個の屈折率変調部が形成されており、

前記 N 個の屈折率変調部それぞれの屈折率等位面に垂直な直線が前記光導波路の光軸と平行でなく、

前記 N 個の屈折率変調部それぞれの屈折率等位面に垂直な直線と前記光導波路の光軸とがなす偏角面が互いに一致しておらず、

前記 N 個の屈折率変調部のうちの何れか 2 つの屈折率変調部それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なっている

ことを特徴とする光導波路型回折格子素子。

【請求項 2】 前記 N 個の屈折率変調部それぞれの偏角面が前記光導波路の光軸の回りに $180^\circ/N$ ずつずれていることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路型回折格子素子。

【請求項 3】 前記 N 個の屈折率変調部それぞれの偏角面が前記光導波路の光軸の回りに $360^\circ/N$ ずつずれていることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路型回折格子素子。

【請求項 4】 前記 N 個の屈折率変調部それぞれは、屈折率等位面に垂直な直線と前記光導波路の光軸とがなす角度が互いに同一であり、前記光導波路の長手方向に沿った形成領域の長さが互いに同一であり、屈折率変調周期が互いに同一であり、屈折率変調振幅が互いに同一であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路型回折格子素子。

【請求項 5】 透過損失が最大となる波長において偏波依存損失が透過損失最大値の $1/10$ 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路型回折格子素子。

【請求項 6】 光導波路の長手方向に沿って N (N は 2 以上の整数) 個の屈折率変調部を、屈折率等位面に垂直な直線が前記光導波路の光軸と平行とならないようにして順次に形成するとともに、

第 n (n は 2 以上 N 以下の整数) 番目の屈折率変調部を形成する際に、屈折率等位面に垂直な直線と前記光導波路の光軸とがなす偏角面が、既に形成した第 1 番目～第 $(n - 1)$ 番目の屈折率変調部それぞれの偏角面の何れとも一致しないようにし、

前記 N 個の屈折率変調部のうちの何れか 2 つの屈折率変調部それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なるようにして、

光導波路型回折格子素子を製造することを特徴とする光導波路型回折格子素子製造方法。

【請求項 7】 前記 N 個の屈折率変調部それぞれの偏角面を前記光導波路の光軸の回りに 180 度/ N ずつずらすことを特徴とする請求項 6 記載の光導波路型回折格子素子製造方法。

【請求項 8】 前記 N 個の屈折率変調部それぞれの偏角面を前記光導波路の光軸の回りに 360 度/ N ずつずらすことを特徴とする請求項 6 記載の光導波路型回折格子素子製造方法。

【請求項 9】 前記 N 個の屈折率変調部それぞれを形成する際に、屈折率等位面に垂直な直線と前記光導波路の光軸とがなす角度を互いに同一にし、前記光導波路の長手方向に沿った形成領域の長さを互いに同一し、屈折率変調周期を互いに同一にし、屈折率変調振幅を互いに同一にすることを特徴とする請求項 6 記載の光導波路型回折格子素子製造方法。

【請求項 10】 透過損失をモニタしながら前記 N 個の屈折率変調部それぞれを形成することを特徴とする請求項 6 記載の光導波路型回折格子素子製造方法。

【請求項 11】 偏波依存損失をモニタしながら前記 N 個の屈折率変調部それぞれを形成することを特徴とする請求項 6 記載の光導波路型回折格子素子製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光導波路の長手方向に沿って屈折率変調部が形成された光導波路型

回折格子素子およびその製造方法に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

光導波路型回折格子素子は、光導波路（例えば光ファイバ）における長手方向に沿った所定範囲に亘って屈折率変調部が形成されたものである。通常の光導波路型回折格子素子は、屈折率等位面（屈折率変調部における屈折率が等位となる面）に垂直な直線が光導波路の光軸と平行である。この場合、屈折率変調周期が Λ であり、光導波路の屈折率変調部における平均の実効屈折率が n_{ave} であれば、この光導波路型回折格子素子は、 $\lambda = 2 n_{ave} \Lambda$ なる式で表されるブラッグ条件式を満たす反射波長 λ の光を選択的に反射し、他の波長の光を透過する。この屈折率変調部において反射された反射波長 λ の光は、入射時と逆の方向に光導波路を伝搬していく。

【 0 0 0 3 】

これに対して、屈折率等位面に垂直な直線が光導波路の光軸と平行でない光導波路型回折格子素子（以下「傾斜型回折格子素子」と言う。）が知られている（例えば文献「M. J. Holmes, et al., "Ultra Narrow-Band Optical Fibre Sideband Filters", ECOC'98, pp.137-138 (1998)」を参照）。図 1 1 は、従来の傾斜型回折格子素子の説明図である。同図（a）は、傾斜型回折格子素子の光軸を含む面で切断したときの断面図であり、同図（b）は、光軸に垂直な面で切断したときの断面図である。この図に示される従来の傾斜型回折格子素子 9 は、高屈折率のコア領域 9 1 および低屈折率のクラッド領域 9 2 を有する光ファイバ 9 0 において、そのコア領域 9 1 の長手方向に沿った所定範囲に亘って屈折率変調部 9 3 が形成されたものである。そして、屈折率変調部 9 3 における屈折率等位面 L に垂直な直線 A は、光ファイバ 9 0 の光軸（図中の x 軸）と平行でなく、直線 A と光軸とがなす角度 θ は 0 でない。この場合、直線 A に沿った屈折率変調周期が Λ であり、屈折率変調部 9 3 における平均の実効屈折率が n_{ave} であれば、この傾斜型回折格子素子 9 は、 $\lambda = 2 n_{ave} \Lambda / \sin \theta$ なる式で表されるブラッグ条件式を満たす反射波長 λ の光を選択的に反射し、他の波長の光を透過する。この屈折率変調部 9 3 において反射された反射波長 λ の光は、光ファイバ 9 0 を伝搬

していくことなく、光ファイバ90の外部へ放射される。すなわち、この傾斜型回折格子素子9は低反射の損失フィルタとして作用する。したがって、傾斜型回折格子素子9は、例えば光ファイバ増幅器の利得を等化する利得等化器として好適に用いられ得る。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来の傾斜型回折格子素子9の損失特性は偏波依存性を有している。すなわち、直線Aと光軸とがなす偏角面M（図11中のx-y平面）に平行な偏波面を有する偏波モードと、偏角面Mに垂直な偏波面を有する偏波モードとは、損失特性が相違している。

【0005】

そこで、このような偏波依存損失を低減する為に、例えば、従来の傾斜型回折格子素子を光軸回りに捻回させることで長手方向に沿って偏角面を回転させることが考えられる。また、複数の屈折率変調部を接続するとともに長手方向に沿って各々の偏角面を異なるものとするとも考えられる。このようにすれば、長手方向の或る位置および他の位置それぞれにおける偏波依存損失が互いに相殺されて、偏波依存損失が低減され得る。

【0006】

しかし、傾斜型回折格子素子を捻回させる場合には、光ファイバがガラスからなるものであって脆弱であることから、偏波依存損失を低減するには、屈折率変調部が長いことが必要である。また、複数の屈折率変調部を接続する場合には、融着接続のために余長部が必要となることから、屈折率変調部が全体として長くなってしまふ。何れにしても、従来の傾斜型回折格子素子は、短尺で偏波依存損失を低減することができない。

【0007】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、短尺であって偏波依存損失が低減された光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光導波路型回折格子素子は、(1) 光導波路の長手方向に沿ってN (Nは2以上の整数) 個の屈折率変調部が形成されており、(2) N個の屈折率変調部それぞれの屈折率等位面に垂直な直線が光導波路の光軸と平行でなく、(3) N個の屈折率変調部それぞれの屈折率等位面に垂直な直線と光導波路の光軸とがなす偏角面が互いに一致しておらず、(4) N個の屈折率変調部のうちの何れか2つの屈折率変調部それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なっていることを特徴とする。

【0009】

本発明に係る光導波路型回折格子素子製造方法は、(1) 光導波路の長手方向に沿ってN (Nは2以上の整数) 個の屈折率変調部を、屈折率等位面に垂直な直線が光導波路の光軸と平行とならないようにして順次に形成するとともに、(2) 第n (nは2以上N以下の整数) 番目の屈折率変調部を形成する際に、屈折率等位面に垂直な直線と光導波路の光軸とがなす偏角面が、既に形成した第1番目～第(n-1)番目の屈折率変調部それぞれの偏角面の何れとも一致しないようにし、(3) N個の屈折率変調部のうちの何れか2つの屈折率変調部それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なるようにして、光導波路型回折格子素子を製造することを特徴とする。

【0010】

本発明に係る光導波路型回折格子素子、および、本発明に係る光導波路型回折格子素子製造方法により製造される光導波路型回折格子素子は、N個の屈折率変調部が形成されていて、各屈折率変調部の屈折率等位面に垂直な直線が光導波路の光軸と平行でなく、各屈折率変調部の偏角面が互いに一致しておらず、何れか2つの屈折率変調部それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なっている。このように構成されることで、光導波路型回折格子素子は、短尺であって、偏波依存損失が低減されたものとなる。

【0011】

また、本発明に係る光導波路型回折格子素子は、N個の屈折率変調部それぞれの偏角面が光導波路の光軸の回りに180度/Nずつずれていることを特徴とす

る。本発明に係る光導波路型回折格子素子製造方法は、 N 個の屈折率変調部それぞれの偏角面を光導波路の光軸の回りに $180^\circ/N$ ずつずらして、光導波路型回折格子素子を製造することを特徴とする。この場合には、光導波路型回折格子素子は、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

【 0 0 1 2 】

また、本発明に係る光導波路型回折格子素子は、 N 個の屈折率変調部それぞれの偏角面が光導波路の光軸の回りに $360^\circ/N$ ずつずれていることを特徴とする。本発明に係る光導波路型回折格子素子製造方法は、 N 個の屈折率変調部それぞれの偏角面を光導波路の光軸の回りに $360^\circ/N$ ずつずらして、光導波路型回折格子素子を製造することを特徴とする。上述した $180^\circ/N$ ずつずらす場合と比較して、このように $360^\circ/N$ ずつずらす場合には、光導波路型回折格子素子は、更に偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。また、 N は、奇数であってもよいが、偶数であるのが好適である。 N が偶数であれば、偏角面が互いに 180° だけ異なる対の屈折率変調部それぞれが有する非軸対称性に因る複屈折性が相殺されるので、このことによっても、光導波路型回折格子素子は、更に偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

【 0 0 1 3 】

また、本発明に係る光導波路型回折格子素子では、 N 個の屈折率変調部それぞれは、屈折率等位面に垂直な直線と光導波路の光軸とがなす角度が互いに同一であり、光導波路の長手方向に沿った形成領域の長さが互いに同一であり、屈折率変調周期が互いに同一であり、屈折率変調振幅が互いに同一であることを特徴とする。本発明に係る光導波路型回折格子素子製造方法は、 N 個の屈折率変調部それぞれを形成する際に、屈折率等位面に垂直な直線と光導波路の光軸とがなす角度を互いに同一にし、光導波路の長手方向に沿った形成領域の長さを互いに同一にし、屈折率変調周期を互いに同一にし、屈折率変調振幅を互いに同一にすることを特徴とする。この場合にも、光導波路型回折格子素子は、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

【 0 0 1 4 】

また、本発明に係る光導波路型回折格子素子は、透過損失が最大となる波長に

において偏波依存損失が透過損失最大値の $1/10$ 以下であることを特徴とする。
 この場合には、光導波路型回折格子素子は、光通信の分野で偏波依存損失が小さいことが要求される光学装置（またはその一部）として好適に用いられる。

【 0 0 1 5 】

また、本発明に係る光導波路型回折格子素子製造方法は、透過損失をモニタしながら N 個の屈折率変調部それぞれを形成することを特徴とする。或いは、偏波依存損失をモニタしながら N 個の屈折率変調部それぞれを形成することを特徴とする。この場合には、製造される光導波路型回折格子素子は、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

【 0 0 1 6 】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【 0 0 1 7 】

図 1 は、本実施形態に係る光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）1 の説明図である。この図には、光軸を含む面で切断したときの断面図、および、光軸に垂直な面で切断したときの断面図が示されている。この図に示される本実施形態に係る傾斜型回折格子素子 1 は、光導波路である光ファイバ 10 の長手方向に沿って、 N (N は 2 以上の整数) 個の屈折率変調部 $13_1 \sim 13_N$ が形成されている。光ファイバ 10 は、石英ガラスをベースとするものであって、 GeO_2 が添加されたコア領域 11 と、このコア領域 11 を取り囲むクラッド領域 12 とを含む。

【 0 0 1 8 】

各屈折率変調部 13_n (n は 1 以上 N 以下の任意の整数) について、屈折率が等位となる屈折率等位面を L_n と表し、屈折率等位面 L_n に垂直であって光ファイバ 10 の光軸 (x 軸) と交わる直線を A_n と表し、直線 A_n と光軸とがなす角度を θ_n と表し、直線 A_n と光軸とがなす偏角面を M_n と表す。

【 0 0 1 9 】

各屈折率変調部 13_n は、直線 A_n が光軸と平行でなく、直線 A_n と光軸とがな

す角度 θ_n が 0 でない。すなわち、各屈折率変調部 13_n は、光軸に対して角度 θ_n だけ傾斜した直線 A_n に沿って周期 Λ_n の屈折率変調がコア領域 11 に形成されたものである。また、各屈折率変調部 13_n の偏角面 M_n は互いに一致していない。すなわち、N 個の屈折率変調部 $13_1 \sim 13_N$ のうちの任意の 2 つの屈折率変調部 13_{n1} , 13_{n2} を取り上げたときに、偏角面 M_{n1} と偏角面 M_{n2} とは一致していない。

【0020】

N 個の屈折率変調部 $13_1 \sim 13_N$ のうちの何れか 2 つの屈折率変調部 13_{n1} , 13_{n2} それぞれの形成領域は、互いに少なくとも一部が重なっている。図では、例えば、屈折率変調部 13_1 の形成領域は、屈折率変調部 13_2 の形成領域と一部が重なっており、屈折率変調部 13_3 の形成領域とも一部が重なっており、また、屈折率変調部 13_N の形成領域とも一部が重なっている。また、N 個の屈折率変調部 $13_1 \sim 13_N$ それぞれの形成領域は全て一致しているのが好適である。

【0021】

このように、本実施形態に係る傾斜型回折格子素子 1 は、N 個の屈折率変調部 $13_1 \sim 13_N$ が形成されていて、各屈折率変調部 13_n の角度 θ_n が 0 でなく、各屈折率変調部 13_n の偏角面 M_n が互いに一致しておらず、何れか 2 つの屈折率変調部 13_{n1} , 13_{n2} それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なっている。このように構成された傾斜型回折格子素子 1 は、短尺であって、偏波依存損失が低減されたものとなる。

【0022】

また、N 個の屈折率変調部 $13_1 \sim 13_N$ それぞれの偏角面 $M_1 \sim M_N$ は、光ファイバ 10 の光軸の回りに $180^\circ / N$ ずつずれているのが好適である。例えば、 $N=2$ であれば、偏角面 M_1 と偏角面 M_2 とは互いに直交している。また、例えば、 $N=3$ であれば、偏角面 $M_1 \sim M_3$ は光ファイバ 10 の光軸の回りに 60° ずつずれている。このように偏角面 $M_1 \sim M_N$ が配置されることにより、傾斜型回折格子素子 1 は、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

【0023】

また、N 個の屈折率変調部 $13_1 \sim 13_N$ それぞれは、直線 A_n と光軸とがなす

角度 θ_n が互いに同一であり、光ファイバ 10 の長手方向に沿った形成領域の長さ D_n が互いに同一であり、屈折率変調周期が互いに同一であり、屈折率変調振幅が互いに同一であるのが好適である。このように各屈折率変調部 13_n が形成されることにより、傾斜型回折格子素子 1 は、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

【 0 0 2 4 】

そして、本実施形態に係る傾斜型回折格子素子 1 は、透過損失が最大となる波長において、偏波依存損失が透過損失最大値の $1/10$ 以下であるのが好適である。このような傾斜型回折格子素子 1 は、光通信の分野で偏波依存損失が小さいことが要求される光学装置（またはその一部）として好適に用いられ、例えば光ファイバ増幅器の利得を等化する利得等化器として好適に用いられ得る。

【 0 0 2 5 】

次に、本実施形態に係る光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）1 の製造方法について説明する。図 2 および図 3 は、本実施形態に係る光導波路型回折格子素子製造方法を説明するための図である。図 2 は斜視図であり、図 3 は光軸に垂直な面で切断したときの断面図である。

【 0 0 2 6 】

初めに、光ファイバ 10、位相格子マスク 20 および光源 30 が用意される。光ファイバ 10 は、上述したように、石英ガラスをベースとするものであって、 GeO_2 が添加されたコア領域 11 と、このコア領域 11 を取り囲むクラッド領域 12 とを含むものである。位相格子マスク 20 は、石英ガラス平板の一方の面に周期 2Λ の溝状凹凸からなる位相格子が形成されたものである。光源 30 は、光ファイバ 10 のコア領域 11 の屈折率変化を誘起せしめる波長の光（以下「屈折率変化誘起光」という。）を出力するものであり、例えば、波長 248 nm のレーザ光を屈折率変化誘起光として出力する KrF エキシマレーザ光源が用いられる。

【 0 0 2 7 】

そして、図 2 に示されるように、位相格子マスク 20 は、光ファイバ 10 の側方に、位相格子が形成された面が光ファイバ 10 に対向するように配置される。

また、このとき、位相格子マスク 2 0 の位相格子における溝方向は、光ファイバ 1 0 の光軸に垂直な面に対して角度 θ_1 だけ傾斜している。このように両者が配置された状態で、光源 3 0 から出力された屈折率変化誘起光 UV は、位相格子マスク 2 0 に対して垂直に照射される。この屈折率変化誘起光 UV の照射に伴い、位相格子マスク 2 0 の回折作用により + 1 次回折光と - 1 次回折光とが生じ、これら + 1 次回折光と - 1 次回折光とが互いに干渉して、周期 Λ の干渉縞が生じる。光ファイバ 1 0 の GeO_2 が添加されたコア領域 1 1 では、干渉縞の各位置における屈折率変化誘起光のエネルギーの大きさに応じて屈折率が上昇するので、これにより屈折率変調部 1 3₁ が形成される。この屈折率変調部 1 3₁ は、屈折率等位面 L_1 に垂直であって光ファイバ 1 0 の光軸と交わる直線を A_1 としたときに、この直線 A_1 と光軸とがなす角度が θ_1 であり、直線 A_1 と光軸とがなす偏角面 M_1 が位相格子マスク 2 0 の面に平行である（図 2 および図 3（a）参照）。

【 0 0 2 8 】

このように図 3（a）に示された配置状態で屈折率変化誘起光 UV が一定時間だけ照射されることで第 1 番目の屈折率変調部 1 3₁ が形成される。形成後、屈折率変化誘起光 UV の照射が中断され、その間に光ファイバ 1 0 が一定角度だけ光軸回りに回転されて、図 3（b）に示された配置状態となる。そして、図 3（b）に示された配置状態で屈折率変化誘起光 UV が一定時間だけ照射されることで第 2 番目の屈折率変調部 1 3₂ が形成される。このようにして形成された第 2 番目の屈折率変調部 1 3₂ は、屈折率等位面 L_2 に垂直であって光ファイバ 1 0 の光軸と交わる直線を A_2 としたときに、この直線 A_2 と光軸とがなす角度が θ_2 であり、直線 A_2 と光軸とがなす偏角面 M_2 が位相格子マスク 2 0 の面に平行である。第 2 番目の屈折率変調部 1 3₂ の偏角面 M_2 は、既に形成された第 1 番目の屈折率変調部 1 3₁ の偏角面 M_1 と一致していない。

【 0 0 2 9 】

さらに、第 2 番目の屈折率変調部 1 3₂ の形成後、屈折率変化誘起光 UV の照射が中断され、その間に光ファイバ 1 0 が一定角度だけ光軸回りに回転されて、図 3（c）に示された配置状態となる。そして、図 3（c）に示された配置状態で屈折率変化誘起光 UV が一定時間だけ照射されることで第 3 番目の屈折率変調

部 13_3 が形成される。このようにして形成された第 3 番目の屈折率変調部 13_3 は、屈折率等位面 L_3 に垂直であって光ファイバ 10 の光軸と交わる直線を A_3 としたときに、この直線 A_3 と光軸とがなす角度が θ_3 であり、直線 A_3 と光軸とがなす偏角面 M_3 が位相格子マスク 20 の面に平行である。第 3 番目の屈折率変調部 13_3 の偏角面 M_3 は、既に形成された第 1 番目の屈折率変調部 13_1 の偏角面 M_1 と一致しておらず、また、既に形成された第 2 番目の屈折率変調部 13_2 の偏角面 M_2 ととも一致していない。

【 0 0 3 0 】

以降も同様にして、第 4 番目～第 N 番目の屈折率変調部 $13_4 \sim 13_N$ が順次に形成される。第 N 番目の屈折率変調部 13_N の形成の際には、図 3 (d) に示された配置状態で屈折率変化誘起光 UV が一定時間だけ照射されることで第 N 番目の屈折率変調部 13_N が形成される。このようにして形成された第 N 番目の屈折率変調部 13_N は、屈折率等位面 L_N に垂直であって光ファイバ 10 の光軸と交わる直線を A_N としたときに、この直線 A_N と光軸とがなす角度が θ_N であり、直線 A_N と光軸とがなす偏角面 M_N が位相格子マスク 20 の面に平行である。第 N 番目の屈折率変調部 13_N の偏角面 M_N は、既に形成された第 1 番目～第 $(N-1)$ 番目の屈折率変調部 $13_1 \sim 13_{N-1}$ の偏角面 $M_1 \sim M_{N-1}$ の何れとも一致していない。

【 0 0 3 1 】

なお、位相格子マスク 20 が位置固定のままであれば各 θ_n は全て同一値であるが、位相格子マスク 20 がその面上で回転されることにより各 θ_n は異なるものとすることができる。また、1 つの位相格子マスク 20 が用いられれば、各屈折率変調部 13_n において直線 A_n に沿った屈折率変調周期は全て同一値であるが、異なる位相格子周期の位相格子マスクに交換されることで、各屈折率変調部 13_n において直線 A_n に沿った屈折率変調周期は異なるものとすることができる。

【 0 0 3 2 】

このように、本実施形態に係る光導波路型回折格子素子製造方法では、 N 個の屈折率変調部 $13_1 \sim 13_N$ は、光ファイバ 10 の長手方向に沿って、屈折率等位面 L_n に垂直な直線 A_n が光ファイバ 10 の光軸と平行とならない（すなわち角度 $\theta_n \neq 0$ となる）ようにして順次に形成される。また、第 n 番目の屈折率変調部

1 3_nを形成する際に、その偏角面M_nが、既に形成された第1番目～第(n-1)番目の屈折率変調部1 3₁～1 3_{n-1}それぞれの偏角面M₁～M_{n-1}の何れとも一致しないようにされる。さらに、N個の屈折率変調部1 3₁～1 3_Nのうちの何れか2つの屈折率変調部それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なるように形成される。このようにして、本実施形態に係る傾斜型回折格子素子1が製造される。

【 0 0 3 3 】

特に、第(n-1)番目の屈折率変調部1 3_{n-1}が形成された後に、光ファイバ1 0が一定角度1 8 0 / Nだけ光軸回りに回転されて、第n番目の屈折率変調部1 3_nが形成されるのが好適である。このようにして製造される傾斜型回折格子素子1は、N個の屈折率変調部1 3₁～1 3_Nそれぞれの偏角面M₁～M_Nが光ファイバ1 0の光軸の回りに1 8 0 度 / Nずつずれているので、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

【 0 0 3 4 】

また、各屈折率変調部1 3_nを形成する際に、屈折率等位面L_nに垂直な直線A_nと光ファイバ1 0の光軸とがなす角度A_nを互いに同一にし、光ファイバ1 0の長手方向に沿った形成領域の長さD_nを互いに同一し、屈折率変調周期を互いに同一にし、屈折率変調振幅を互いに同一にするのが好適である。このようにして製造される傾斜型回折格子素子1は、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

【 0 0 3 5 】

また、各屈折率変調部1 3_nを形成する際に、製造途中の傾斜型回折格子素子1の透過損失または偏波依存損失をモニタするのが好適である。このようにすることで、製造される傾斜型回折格子素子1は、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

【 0 0 3 6 】

次に、本実施形態に係る光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）1およびその製造方法の実施例について説明する。本実施例では、光ファイバ1 0は、コア領域1 1だけでなくクラッド領域1 2にもGeO₂が添加されたものであ

った。位相格子マスク 20 は、一定周期ではなく、溝方向に垂直な方向に沿って周期が次第に変化していて、中心周期が $1.0650\text{ }\mu\text{m}$ であり、周期変化率が 10.0 nm/cm であった。光源 30 は、波長 248 nm のレーザ光を屈折率変化誘起光として出力する KrF エキシマレーザ光源が用いられた。

【0037】

そして、製造された本実施例の傾斜型回折格子素子 1 は、2つの屈折率変調部 13_1 、 13_2 を有するものであった。2つの屈折率変調部 13_1 、 13_2 それぞれは、形成領域の長さが 5 mm であり、互いに全く重ねられて形成された。屈折率変調部 13_1 の偏角面 M_1 と屈折率変調部 13_2 の偏角面 M_2 とは互いに直交するものであった。

【0038】

本実施例の製造方法では、初めに第 1 番目の屈折率変調部 13_1 が形成され、その後、屈折率変化誘起光 UV の照射が中断されている間に光ファイバ 10 が 90 度だけ光軸回りに回転されて、続いて第 2 番目の屈折率変調部 13_2 が形成された。また、2つの屈折率変調部 13_1 、 13_2 それぞれの形成の際に、製造途中の傾斜型回折格子素子 1 の透過損失がモニタされた。

【0039】

本実施例では、透過損失が最大となる波長における透過損失の目標値は 1 dB とされた。そして、第 1 番目の屈折率変調部 13_1 の形成の際には、モニタされた透過損失が目標値の $1/2$ (0.5 dB) となった時点で、屈折率変化誘起光 UV の照射が中断された。また、続く第 2 番目の屈折率変調部 13_2 の形成の際には、モニタされた透過損失が目標値 (1 dB) となった時点で、屈折率変化誘起光 UV の照射が終了された。図 4 (a) は、第 1 番目の屈折率変調部 13_1 の形成終了時点での透過特性を示す図であり、図 4 (b) は、第 2 番目の屈折率変調部 13_2 の形成終了時点での透過特性を示す図である。この図に示されるように、本実施例の傾斜型回折格子素子 1 の透過損失の最大値は、第 1 番目の屈折率変調部 13_1 の形成終了時点では 0.5 dB であり、第 2 番目の屈折率変調部 13_2 の形成終了時点では 1.0 dB であった。

【0040】

図 5 (a) は、本実施例の傾斜型回折格子素子の透過特性を示す図であり、図 5 (b) は、本実施例の傾斜型回折格子素子の偏波依存損失特性を示す図である。また、図 6 (a) は、比較例の傾斜型回折格子素子の透過特性を示す図であり、図 6 (b) は、比較例の傾斜型回折格子素子の偏波依存損失特性を示す図である。ここで、比較例の傾斜型回折格子素子は、重ね書きされることなく 1 つの屈折率変調部のみを有するものであった。

【 0 0 4 1 】

図 5 (a) と図 6 (a) とを比較して判るように、本実施例の傾斜型回折格子素子および比較例の傾斜型回折格子素子それぞれは、透過スペクトルの形状が互いに似ており、何れも透過損失の最大値が 0. 6 d B 程度であった。しかし、図 5 (b) と図 6 (b) とを比較して判るように、比較例の傾斜型回折格子素子の偏波依存損失の最大値は 0. 1 2 5 d B 程度であるのに対して、本実施例の傾斜型回折格子素子の偏波依存損失の最大値は 0. 0 3 d B 程度であった。本実施例の傾斜型回折格子素子の偏波依存損失の最大値は、比較例の傾斜型回折格子素子の偏波依存損失の最大値と比較して約 $1/4$ であり、また、本実施例の傾斜型回折格子素子の透過損失の最大値と比較して約 $1/20$ であった。

【 0 0 4 2 】

図 7 は、他の実施形態に係る光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）2 の説明図である。この図には、光軸を含む面で切断したときの断面図、および、光軸に垂直な面で切断したときの断面図が示されている。この図に示される本実施形態に係る傾斜型回折格子素子 2 は、光導波路である光ファイバ 2 0 の長手方向に沿って、 N (N は 2 以上の整数) 個の屈折率変調部 $23_1 \sim 23_N$ が形成されている。光ファイバ 2 0 は、石英ガラスをベースとするものであって、 GeO_2 が添加されたコア領域 2 1 と、このコア領域 2 1 を取り囲むクラッド領域 2 2 とを含む。

【 0 0 4 3 】

各屈折率変調部 23_n (n は 1 以上 N 以下の任意の整数) について、屈折率が等位となる屈折率等位面を L_n と表し、屈折率等位面 L_n に垂直であって光ファイバ 2 0 の光軸 (x 軸) と交わる直線を A_n と表し、直線 A_n と光軸とがなす角度を

θ_n と表し、直線 A_n と光軸とがなす偏角面を M_n と表す。各屈折率変調部 23_n の形成領域、屈折率等位面 L_n 、直線 A_n および角度 θ_n それぞれに関しては、既に説明したとおりである。

【0044】

この傾斜型回折格子素子2は、各屈折率変調部 23_n の偏角面 M_n が光軸の周りに $360^\circ/N$ ずつずれている点に特徴を有する。なお、図では、 $N=4$ としている。この場合、偏角面が互いに 180° だけ異なる屈折率変調部 23_1 、 23_3 それぞれが有する非軸対称性に因る複屈折性が相殺され、また、偏角面が互いに 180° だけ異なる屈折率変調部 23_3 、 23_4 それぞれが有する非軸対称性に因る複屈折性が相殺されるので、このことによっても、光導波路型回折格子素子2は、更に偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。なお、ここで言う非軸対称性とは、光ファイバ20に対して屈折率変化誘起光が照射されて形成された屈折率変調部 23_1 において、屈折率変化誘起光の入射側において屈折率上昇が大きくなっていることを言う。そこで、光ファイバ20に対して屈折率変化誘起光が互いに逆の方向それぞれから照射されて屈折率変調部 23_1 、 23_3 が形成されることにより、各々の非軸対称性に因る複屈折性が相殺される。

【0045】

この傾斜型回折格子素子2も、透過損失が最大となる波長において、偏波依存損失が透過損失最大値の $1/10$ 以下であるのが好適である。このような傾斜型回折格子素子2も、光通信の分野で偏波依存損失が小さいことが要求される光学装置（またはその一部）として好適に用いられ、例えば光ファイバ増幅器の利得を等化する利得等化器として好適に用いられ得る。

【0046】

図8～図10それぞれは、3種類の傾斜型回折格子素子の透過率 T および偏波依存損失 PDL それぞれの波長依存性を示すグラフである。図8は、1方向のみから屈折率変化誘起光が照射されて1つの屈折率変調部が形成された傾斜型回折格子素子について示す。図9は、互いに 90° だけ異なる2方向から屈折率変化誘起光が照射されて2つの屈折率変調部が形成された傾斜型回折格子素子1について示す。図10は、互いに 90° ずつ異なる4方向から屈折率変化誘起光が照

射されて4つの屈折率変調部が形成された傾斜型回折格子素子2について示す。傾斜型回折格子素子1および傾斜型回折格子素子2それぞれでは、各屈折率変調部は重ねて形成された。

【0047】

図8(a)、図9(a)および図10(a)を比較して判るように、3種類の傾斜型回折格子素子それぞれの透過率Tの波長依存性は略同様のものであった。一方、図8(b)、図9(b)および図10(b)を比較して判るように、1つの屈折率変調部が形成された傾斜型回折格子素子の偏波依存損失PDLは0.127dBにも達したのに対して、傾斜型回折格子素子1の偏波依存損失PDLは0.023dBと小さく、傾斜型回折格子素子2の偏波依存損失PDLは0.016dBと更に小さかった。

【0048】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、N(Nは2以上の整数)個の屈折率変調部が形成されていて、各屈折率変調部の屈折率等位面に垂直な直線が光導波路の光軸と平行でなく、各屈折率変調部の偏角面が互いに一致しておらず、何れか2つの屈折率変調部それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なっている。このように構成される光導波路型回折格子素子は、短尺であって、偏波依存損失が低減されたものとなる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本実施形態に係る光導波路型回折格子素子(傾斜型回折格子素子)の説明図である。

【図2】

本実施形態に係る光導波路型回折格子素子製造方法を説明するための斜視図である。

【図3】

本実施形態に係る光導波路型回折格子素子製造方法を説明するための断面図である。

【図 4】

本実施例の光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）の透過特性を示す図である。図（a）は第 1 番目の屈折率変調部の形成終了時点での透過特性を示す図であり、図（b）は第 2 番目の屈折率変調部の形成終了時点での透過特性を示す図である。

【図 5】

本実施例の光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）の透過特性および偏波依存損失特性を示す図である。

【図 6】

比較例の光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）の透過特性および偏波依存損失特性を示す図である。

【図 7】

他の実施形態に係る光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）の説明図である。

【図 8】

1 方向のみから屈折率変化誘起光が照射されて 1 つの屈折率変調部が形成された傾斜型回折格子素子の透過率 T および偏波依存損失 PDL それぞれの波長依存性を示すグラフである。

【図 9】

互いに 90 度だけ異なる 2 方向から屈折率変化誘起光が照射されて 2 つの屈折率変調部が形成された傾斜型回折格子素子 1 の透過率 T および偏波依存損失 PDL それぞれの波長依存性を示すグラフである。

【図 10】

互いに 90 度ずつ異なる 4 方向から屈折率変化誘起光が照射されて 4 つの屈折率変調部が形成された傾斜型回折格子素子 2 の透過率 T および偏波依存損失 PDL それぞれの波長依存性を示すグラフである。

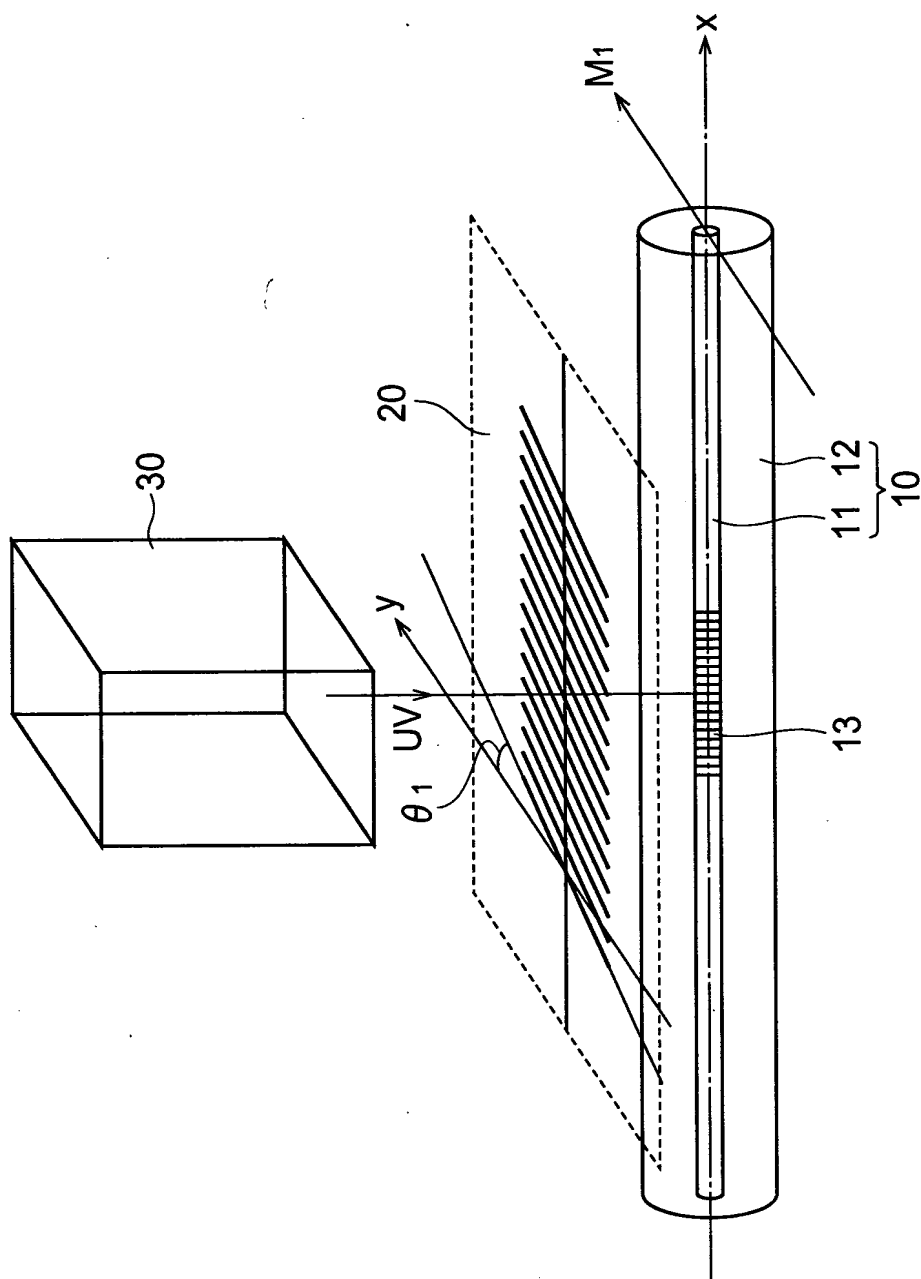
【図 11】

従来の傾斜型回折格子素子の説明図である。

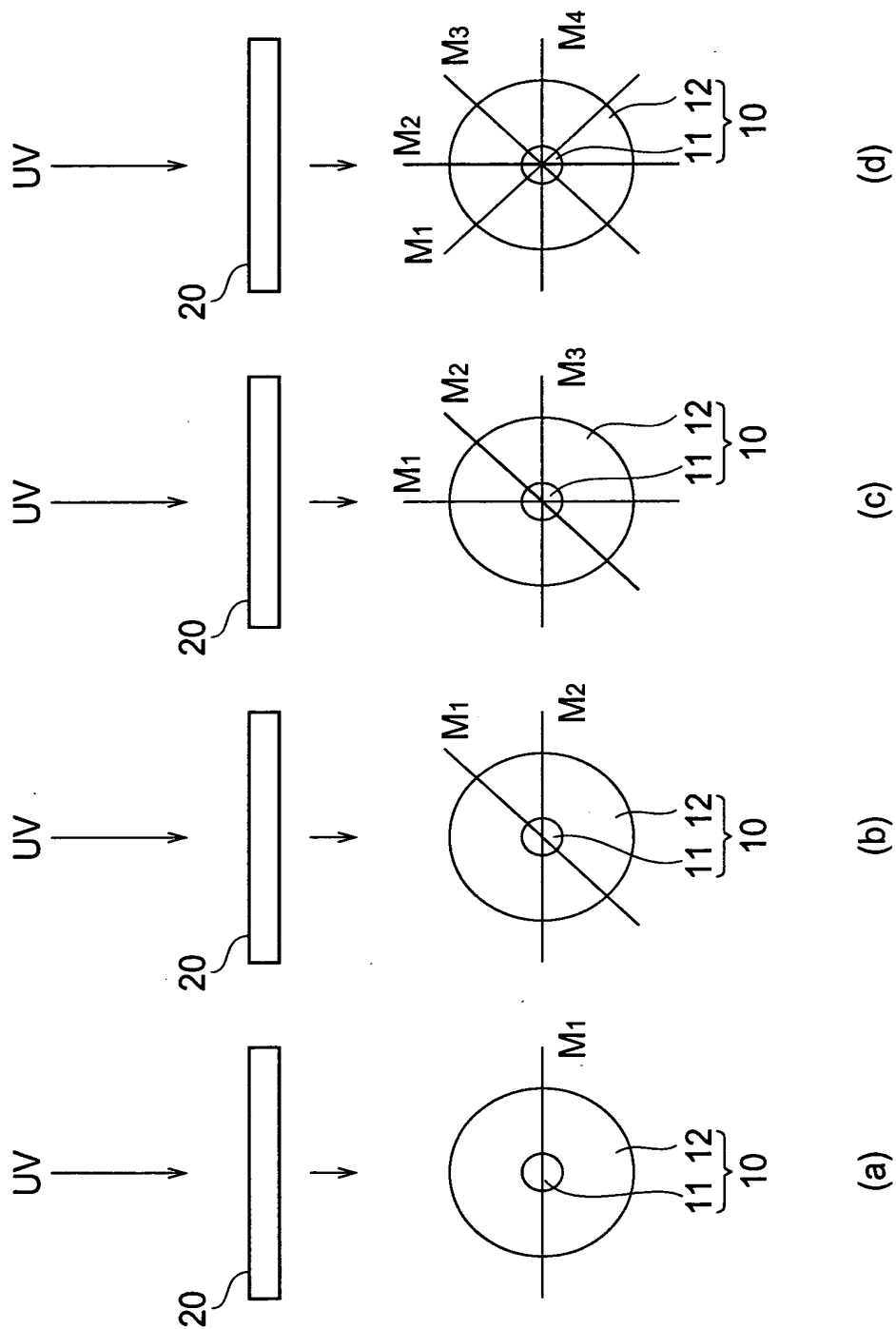
【符号の説明】

1 … 光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）、1 0 … 光ファイバ、1
1 … コア領域、1 2 … クラッド領域、 $1 3_1 \sim 1 3_N$ … 屈折率変調部、2 … 光導波
路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）、2 0 … 光ファイバ、2 1 … コア領域
、2 2 … クラッド領域、 $2 3_1 \sim 2 3_4$ … 屈折率変調部。

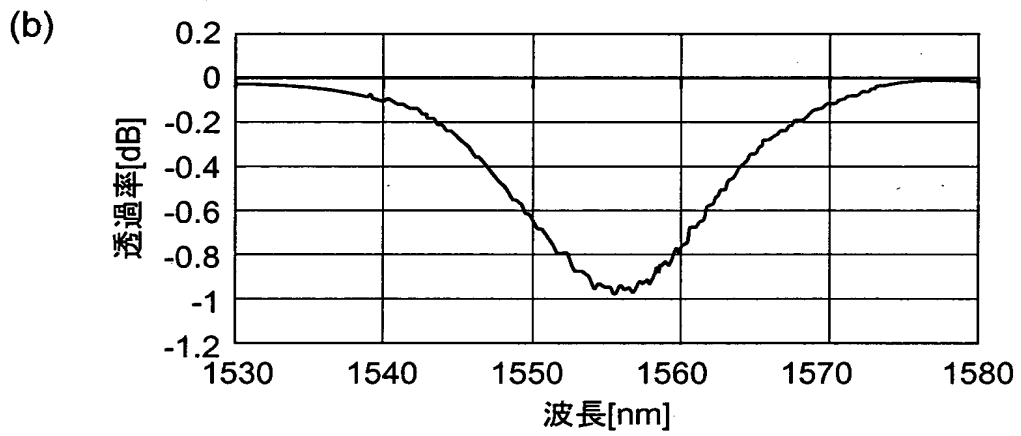
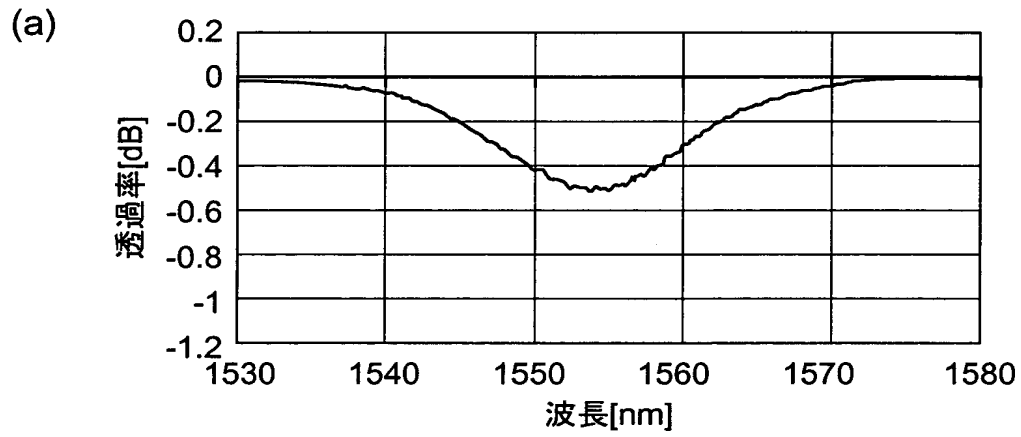
【図 2】



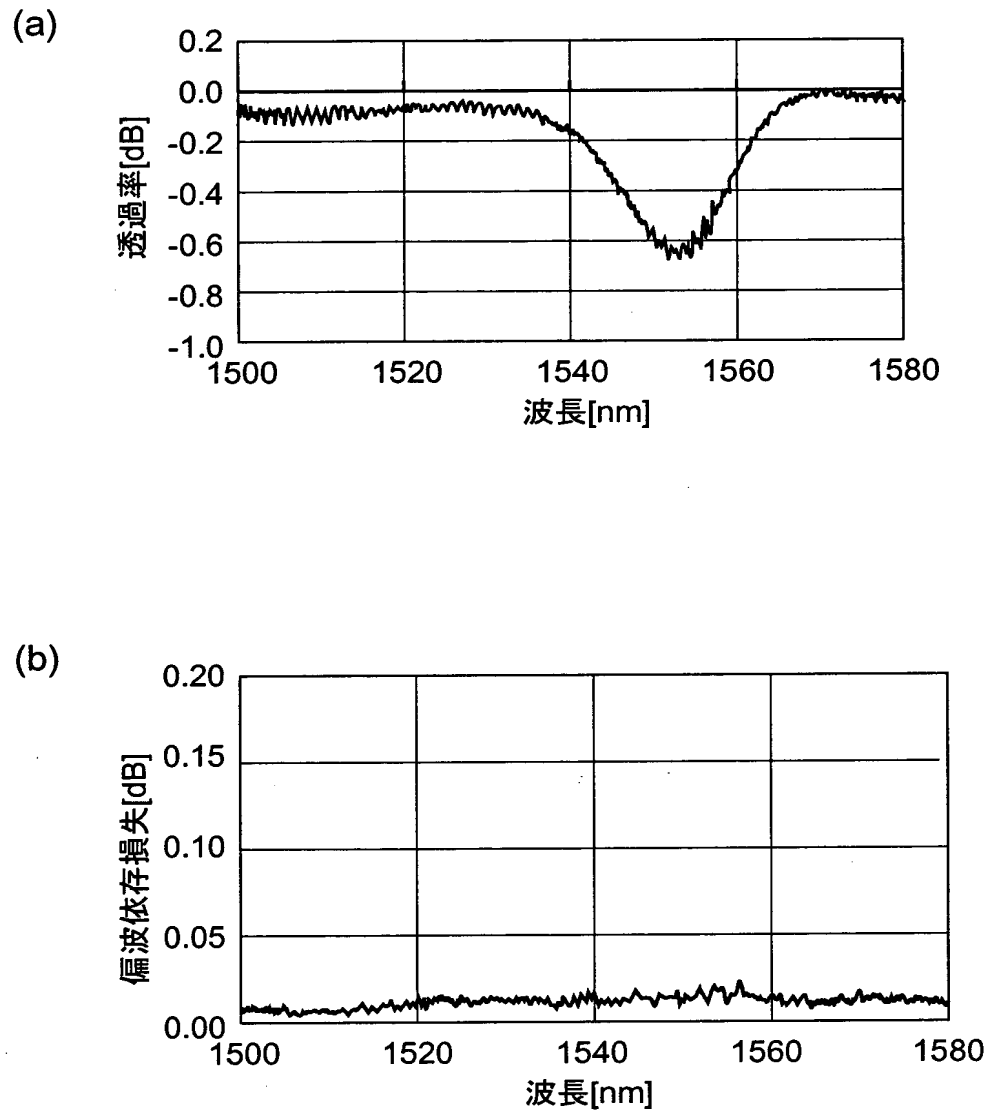
【図 3】



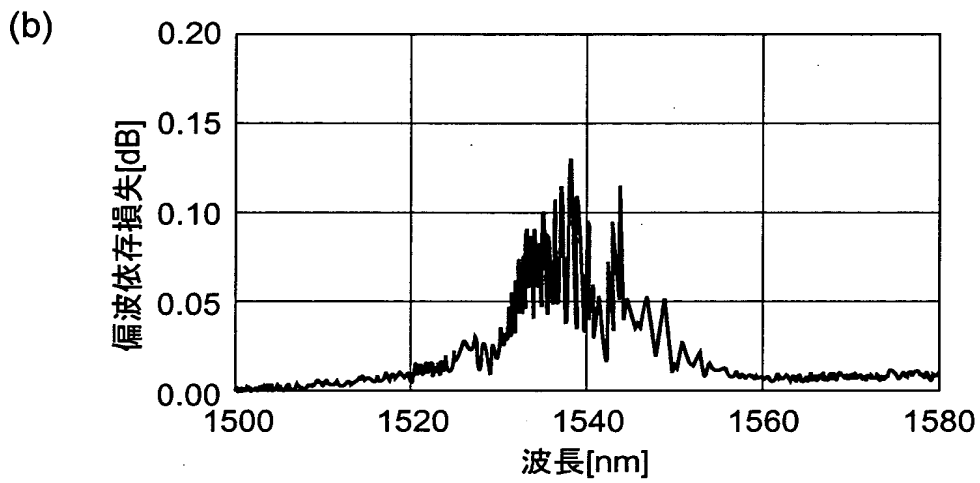
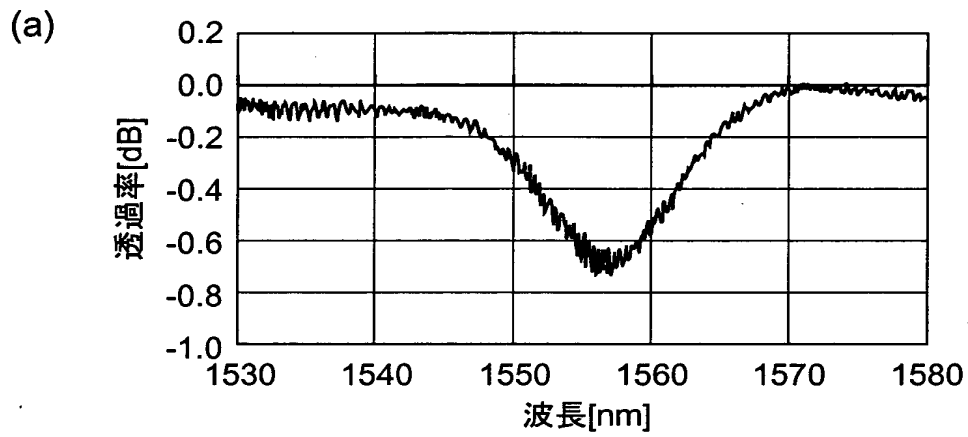
【図 4】



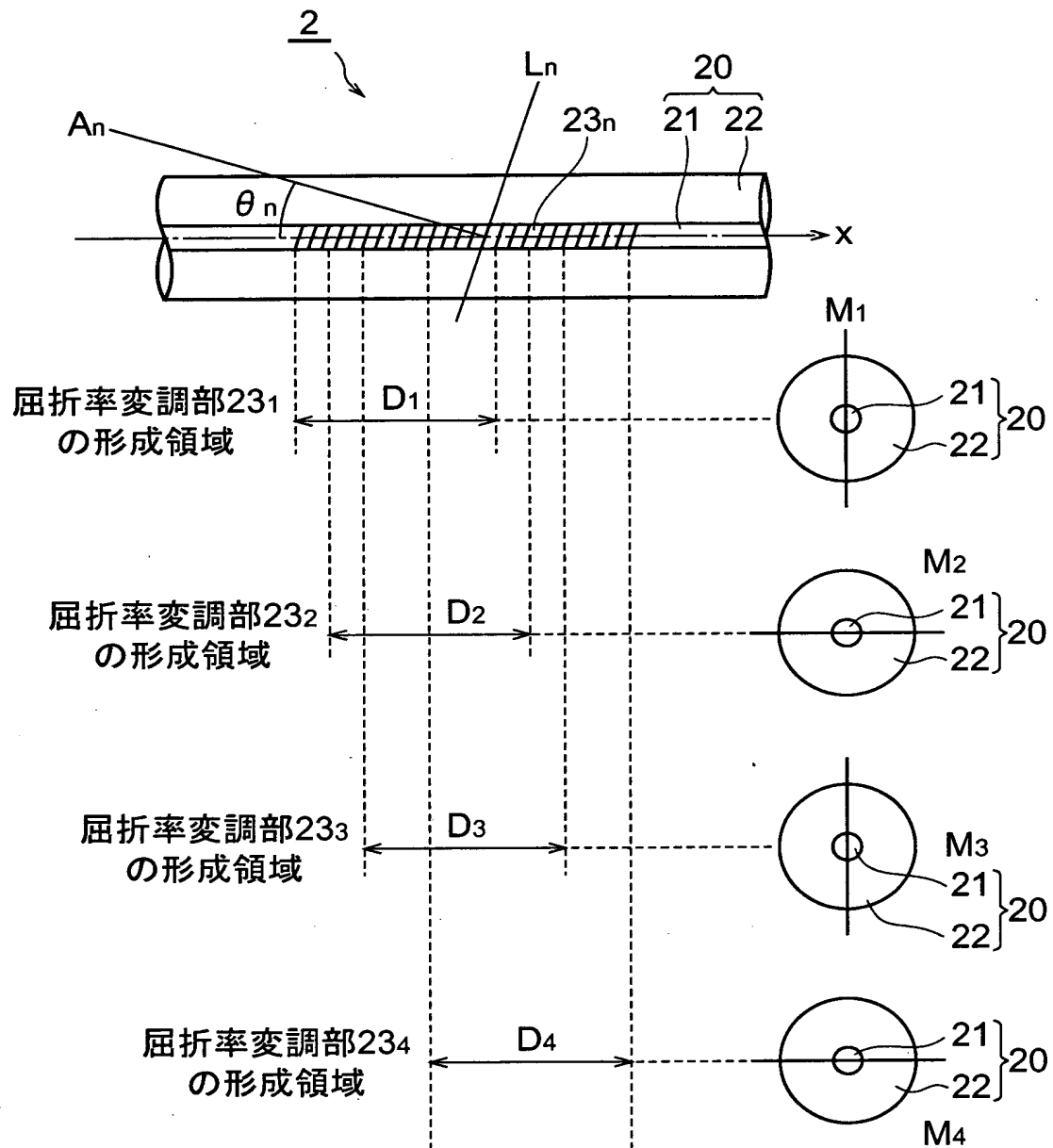
【図 5】



【図 6】

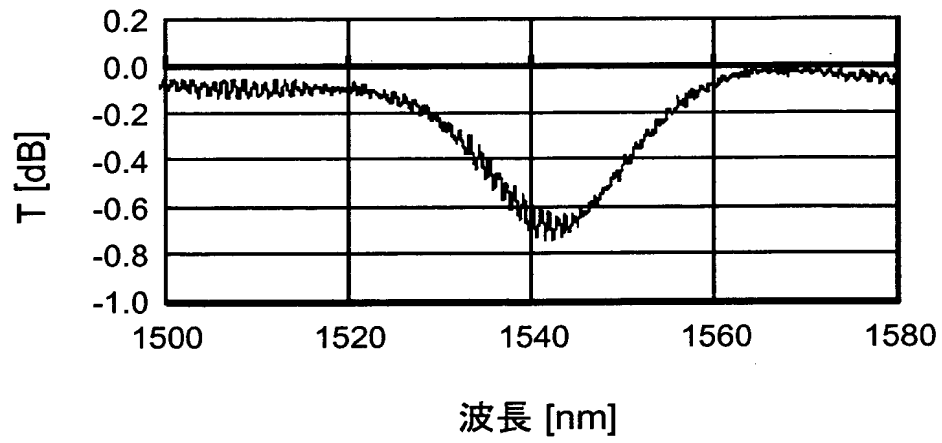


【図 7】

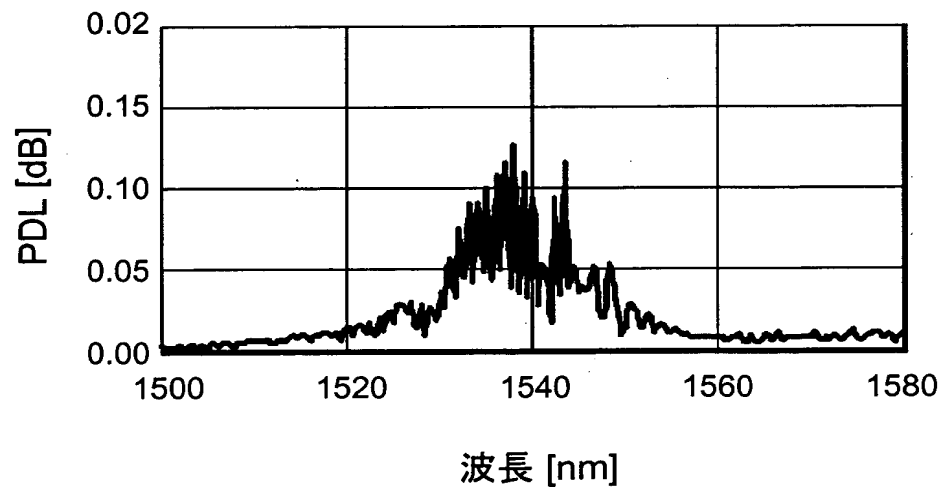


【図 8】

(a)

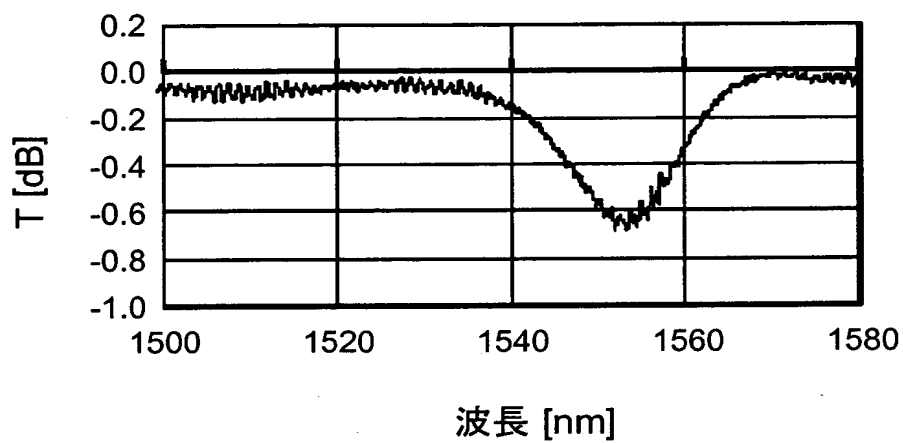


(b)

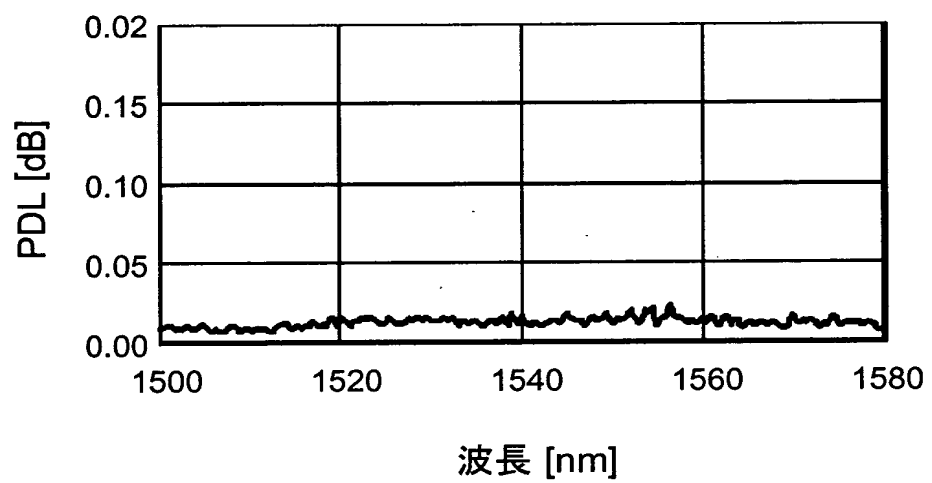


【図 9】

(a)

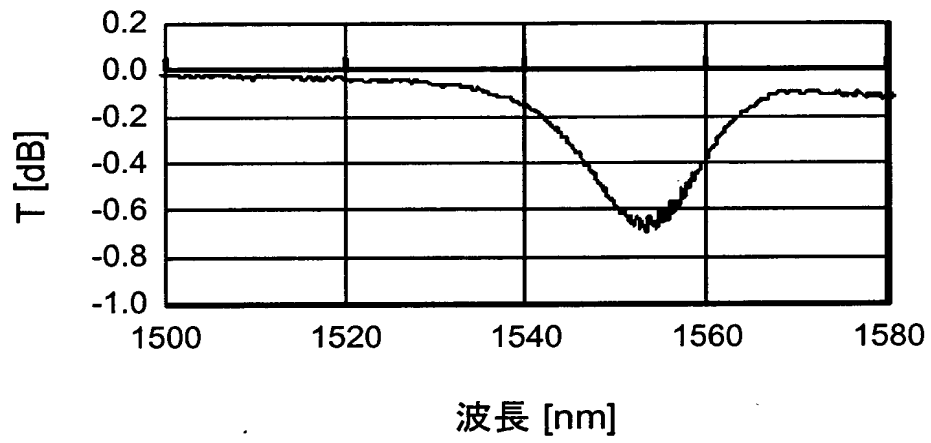


(b)

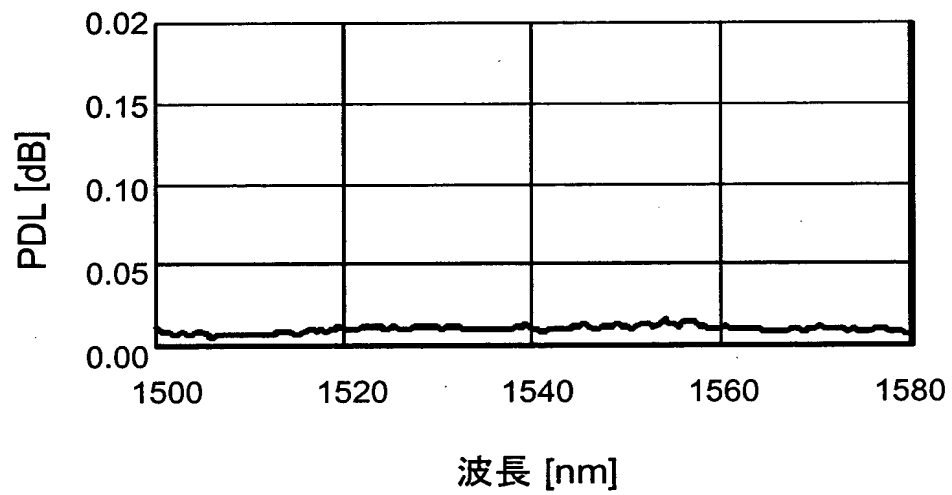


【図 10】

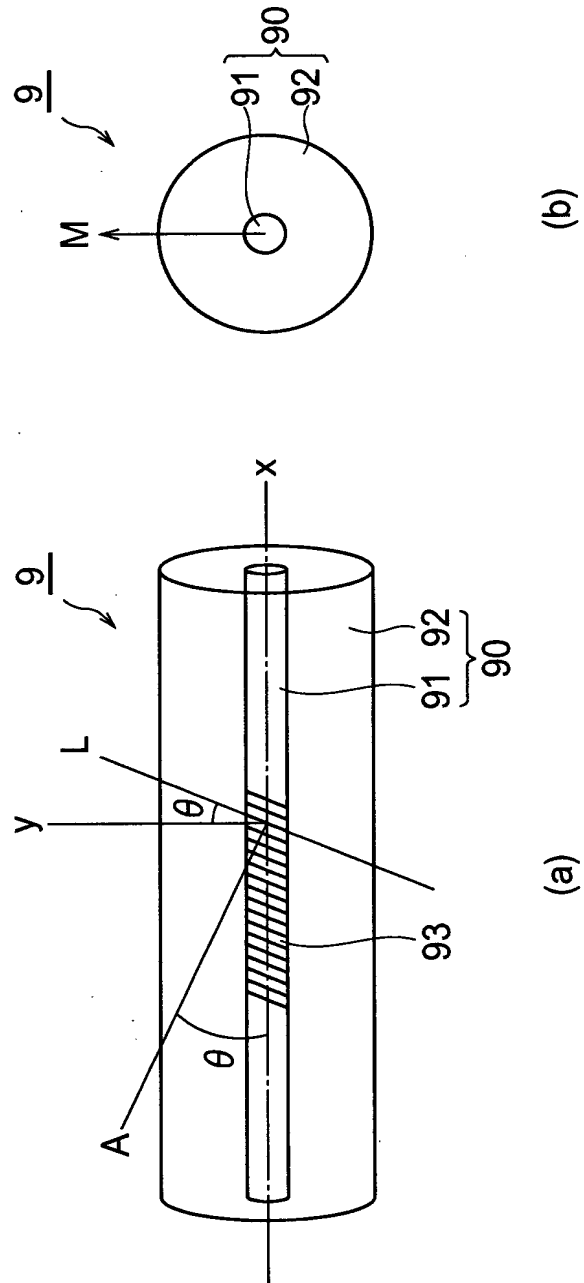
(a)



(b)



【図 11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 短尺であって偏波依存損失が低減された光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 各屈折率変調部 13_n について、屈折率が等位となる屈折率等位面を L_n と表し、屈折率等位面 L_n に垂直であって光ファイバ 10 の光軸（ x 軸）と交わる直線を A_n と表し、直線 A_n と光軸とがなす角度を θ_n と表し、直線 A_n と光軸とがなす偏角面を M_n と表す（ $n = 1 \sim N$ ）。このとき、各屈折率変調部 13_n は、直線 A_n が光軸と平行でなく、直線 A_n と光軸とがなす角度 θ_n が 0 でない。また、各屈折率変調部 13_n の偏角面 M_n は互いに一致していない。N 個の屈折率変調部 $13_1 \sim 13_N$ のうちの何れか 2 つの屈折率変調部 13_{n1} , 13_{n2} それぞれの形成領域は、互いに少なくとも一部が重なっている。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日
[変更理由] 新規登録
住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏 名 住友電気工業株式会社